

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Jong-Yoon KIM et al

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: December 12, 2003

Examiner:

For: METHODS OF MEASURING TPTP OF MAGNETIC HEAD AND CONTROLLING
RECORDING CURRENT

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith
a certified copy of the following foreign application:

Korean Patent Application No(s). 2002-79751

Filed: December 13, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: December 12, 2003

By: 

Michael D. Stein
Registration No. 37,240

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원 번호 : 10-2002-0079751
Application Number PATENT-2002-0079751

출원 년 월 일 : 2002년 12월 13일
Date of Application DEC 13, 2002

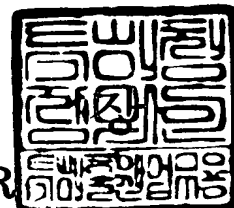
출원인 : 삼성전자 주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003 년 01 월 23 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

| | |
|------------|---|
| 【서류명】 | 특허출원서 |
| 【권리구분】 | 특허 |
| 【수신처】 | 특허청장 |
| 【참조번호】 | 0026 |
| 【제출일자】 | 2002.12.13 |
| 【국제특허분류】 | G11B |
| 【발명의 명칭】 | 자기 헤드의 T P T P 특성 측정 방법 및 이에 적합한 기록 전류 제어 방법 |
| 【발명의 영문명칭】 | Method for measuring TPTP of a magnetic head and a method for controlling write current thereof |
| 【출원인】 | |
| 【명칭】 | 삼성전자 주식회사 |
| 【출원인코드】 | 1-1998-104271-3 |
| 【대리인】 | |
| 【성명】 | 이영필 |
| 【대리인코드】 | 9-1998-000334-6 |
| 【포괄위임등록번호】 | 1999-009556-9 |
| 【대리인】 | |
| 【성명】 | 이해영 |
| 【대리인코드】 | 9-1999-000227-4 |
| 【포괄위임등록번호】 | 2000-002816-9 |
| 【발명자】 | |
| 【성명의 국문표기】 | 김종윤 |
| 【성명의 영문표기】 | KIM, Jong Yoon |
| 【주민등록번호】 | 690520-1002516 |
| 【우편번호】 | 449-906 |
| 【주소】 | 경기도 용인시 기흥읍 서천리 서그내마을 SK아파트 101동 1401호 |
| 【국적】 | KR |
| 【발명자】 | |
| 【성명의 국문표기】 | 여창동 |
| 【성명의 영문표기】 | YE0, Chang Dong |
| 【주민등록번호】 | 730715-1110414 |

【우편번호】 449-845
【주소】 경기도 용인시 수지읍 죽전리 1110 대지마을 현대홈타운2
 차아파트 20 3동 604호
【국적】 KR
【심사청구】 청구
【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정
 에 의한 출원심사 를 청구합니다. 대리인
 이영필 (인) 대리인
 이해영 (인)
【수수료】
【기본출원료】 20 면 29,000 원
【가산출원료】 9 면 9,000 원
【우선권주장료】 0 건 0 원
【심사청구료】 16 항 621,000 원
【합계】 659,000 원
【첨부서류】 1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 하드디스크 드라이브에 관한 것으로서 특히 자기 헤드의 TPTP(Thermal Pole Tip Protrusion) 특성 측정 방법 및 이에 적합한 기록 전류 제어 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 TPTP 측정 방법은 하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서, 하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서, 오버슈트전류(Over Shoot Current ; OSC)의 크기를 변화시켜가면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하는 과정; 오버슈트전류 OSC의 변화 범위에서 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율을 검출하는 과정; 및 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이에 의해 TPTP의 정도를 판단하는 과정을 포함한다.

본 발명에 따른 TPTP 측정 방법에 따르면 번인 테스트 공정에서 각개 헤드의 TPTP 특성을 정량적으로 측정할 수 있다는 효과를 가진다.

【대표도】

도 7

【명세서】**【발명의 명칭】**

자기 헤드의 T P T P 특성 측정 방법 및 이에 적합한 기록 전류 제어 방법{Method for measuring TPTP of a magnetic head and a method for controlling write current thereof}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 일반적인 하드디스크 드라이브 시스템의 구조를 개략적으로 보인 평면도이다.

도 2는 일반적인 자기 헤드(70)의 구조를 확대하여 도시한 것이다,

도 3은 종래의 자기 헤드 조립체의 일 예를 개략적으로 보인 사시도이다.

도 4a 및 도 4b는 TPTP에 의한 영향을 도식적으로 보이기 위한 것이다.

도 5는 기록 전류의 파형을 보이는 파형도이다.

도 6은 기록 전류의 오버슈트의 변화에 따른 TPTP의 변화 정도를 나타내는 그래프의 예이다.

도 7은 본 발명에 따른 TPTP 측정 방법을 보이는 흐름도이다.

도 8은 도 7의 s704 내지 s708과정을 통하여 측정된 오버슈트전류(OSC)와 BER의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.

도 9는 도 7의 s704 내지 s708과정을 통하여 측정된 오버슈트전류(OSC)와 CSM의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.

도 10은 여러 가지의 헤드들의 TPTP 특성들을 보이는 그래프이다.

도 11은 디스크에 있어서 온도에 따른 보자력의 변화를 보이는 것이다.

도 12는 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법을 보이는 흐름도이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <13> 본 발명은 하드디스크 드라이브에 관한 것으로서 특히 자기 헤드의 TPTP(Thermal Pole Tip Protrusion) 특성 측정 방법 및 이에 적합한 기록 전류 제어 방법에 관한 것이다.
- <14> 하드디스크 드라이브는 컴퓨터의 보조 기억 장치들 중의 하나로서, 자기 헤드에 의해 하드디스크의 자성체층에 기록된 데이터를 읽거나(read), 자성체층에 데이터를 기록하는(record) 장치이다.
- <15> 현재 하드디스크 드라이브에서는 기록용 자기 헤드는 금속(일반적으로 permalloy; Ni 80%/Fe 20%)을 사용하고 헤드를 지지하는 슬라이더(slidebar)는 비금속 물질을 사용하고 있다.
- <16> 따라서 기록 동작에서 기록 전류가 금속 코일을 통하여 흐르게 되며, 주울 열이 발생한다. 그런데, 금속/비금속간의 열팽창 계수의 차이로 인하여 폴(pole) 주변 부위가 돌출하게 되는데 이러한 현상을 TPTP라고 부른다.
- <17> 이러한 TPTP에 의해 헤드와 디스크간의 인터페이스(Head/Disk Interface, 헤드와 디스크 사이의 간격, 이하 HDI라 함) 마진이 줄어들게 되기 때문에 헤드의 비행 높이(Flying Height)를 낮추는 효과를 내며, 따라서 과도한 TPTP는 HDI상에

문제를 야기하며 심한 경우에는 Head와 Disk의 부딪힘이 발생하여 Head Pole Damage(헤드 폴의 손상), TA(Thermal Asperity) 등의 원인이 되기도 한다.

<18> 이러한 TPTP의 양은 $i^2 R$ 에 비례한다. 여기서 i 는 기록 코일에 흐르는 전류(기록 전류)를 나타내고, R 은 기록 코일의 저항을 나타낸다. 따라서, TPTP를 줄이기 위해서는 i 와 R 을 줄여야 한다. R 은 기록 코일의 물성에 의해 결정되는 팩타(factor)로서 헤드의 제작과 더불어 고정되어 버리며, i 는 드라이브에서 사용하는 기록 전류(write current; WC)나 오버슈트전류(Over Shoot Current; OSC)에 의해 결정된다. 또한, TPTP의 양은 i 의 제곱에 비례하므로 i 는 R 보다 더 민감한 팩터이다..

<19> 한편, 최근 들어 하드디스크 드라이브가 고밀도화됨에 따라 헤드의 비행 높이도 점차로 낮아지게 됨에 따라 TPTP에 의한 영향도 심각하게 고려하여야 하게 되었다.

<20> 종래에 있어서 TPTP에 의한 영향이 알려져 있기는 했지만 TPTP를 정확하게 측정하는 방법이 없었으므로 헤드마다 일률적으로 동일한 TPTP를 적용할 수밖에 없었다.

<21> 그렇지만 실제에 있어서는 헤드마다 TPTP의 특성이 다를 수밖에 없기 때문에 헤드마다 일률적으로 동일한 TPTP를 적용하는 것이 무리가 있었고, 이에 따라 하드디스크 드라이브를 효율적으로 제어하는 것이 어렵다는 문제점이 있었다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<22> 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 고안된 것으로서 헤드의 TPTP를 측정하는 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

<23> 본 발명의 다른 목적은 상기의 TPTP 측정 방법을 이용한 기록 전류 제어 방법을 제공하는 것에 있다.

【발명의 구성 및 작용】

- <24> 상기의 목적을 달성하는 본 발명에 따른 TPTP 측정 방법은
- <25> 하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서,
- <26> 오버슈트전류(Over Shoot Current ; OSC)의 크기를 변화시켜가면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하는 과정;
- <27> 오버슈트전류 OSC의 변화 범위에서 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율을 검출하는 과정; 및
- <28> 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이에 의해 TPTP의 정도를 판단하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <29> 여기서, 오차율 측정 과정은 디스크의 OD(Outer Diameter) 또는 저기압 조건에서 수행되는 것이 바람직하다.
- <30> 상기의 다른 목적을 달성하는 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법은
- <31> 하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서,
- <32> 오버슈트전류 (Over Shoot Current ; OSC)의 크기를 변화시켜가면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하는 과정;
- <33> 오버슈트전류 OSC의 변화 범위에서 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율을 검출하는 과정;
- <34> 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이에 의해 TPTP의 정도를 판단하는 과정; 및

- <35> 판단된 TPTP의 정도에 상응하여 온도에 따른 기록 전류(Write Current) 및 오버슈트전류 OSC의 조정 정도를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <36> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성 및 동작을 상세히 설명하기로 한다.
- <37> 본 발명은 하드디스크 드라이브의 제조 공정(일반적으로 burn-in test 공정)에서 각개 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법을 제공한다. 또한, 측정된 TPTP 특성을 고려하여 TPTP가 심한 헤드는 그렇지 않은 헤드보다 낮은 WC 및 오버슈트전류 OSC를 사용하도록 조정하는 방법을 제공한다.
- <38> 하드디스크 드라이브 시스템은 회전하는 하드디스크의 기록/재생면에 짝지어지는 적어도 하나 이상의 자기 헤드(magnetic head)를 구비한다. 자기 헤드는, 하드디스크 면의 자기 영역(magnetic field)을 자화 또는 검출하는 것에 의해 정보를 쓰거나 읽는다.
- <39> 도 1은 일반적인 하드디스크 드라이브 시스템의 구조를 개략적으로 보인 평면도이다. 도 1을 참조하면, 일반적으로 하드디스크 드라이브 시스템(10)은 베이스(11) 상에 회전 가능하게 설치되며 소정 정보가 기록되는 하드디스크(20)와, 정보의 기록 및 읽기를 위해 자기 헤드(50)를 하드디스크(20) 상의 원하는 트랙 위치로 이동시키는 자기 헤드 이송장치를 구비한다. 여기서, 하드디스크(20)는 정보가 기록되는 기록영역(22)과, 이 하드디스크(20)의 회전이 정지될 때 자기 헤드(50)가 파킹 되도록 마련된 파킹 영역(21)으로 구분되어 있다.
- <40> 자기 헤드 이송장치는 자기 헤드(50)가 탑재되며 베이스(11) 상에 마련된 회동축(34)을 중심으로 회동 가능하게 설치되는 자기 헤드 조립체(30)와, 자기 헤드 조립체(30)를 전자기력에 의해 회동시키기 위한 구동부(40)를 구비한다.

- <41> 자기 헤드 조립체(30)는 회동축(34)에 회전 가능하게 결합되는 액추에이터 암(32)의 단부에 결합되는 서스펜션(31)과, 하드디스크(20)에 정보를 기록하고 하드디스크(20)에 기록되어 있는 정보를 읽기 위한 자기 헤드(미도시)를 구비하며 서스펜션(31)에 설치되는 자기 헤드 슬라이더(50)를 포함하여 구성된다.
- <42> 자기 헤드 슬라이더(50)는 서스펜션(31)에 의해 하드디스크(20)쪽으로 바이어스되어 있으며, 하드디스크(20)가 회전하기 시작하면 하드디스크(20)의 회전에 의해 발생하는 공기동압에 의해, 하드디스크(20)에 대하여 부상한 채로 비행(flying)하게 된다. 이때, 자기 헤드 슬라이더(50)가 부상한 채로 비행하는 높이(이하, 비행 높이(Flying Height) ; FH)는 서스펜션(31)의 그램 하중(gram load)과, 하드디스크(20)의 회전에 따른 공기 흐름(air flow)에 의한 양력 등에 의해 결정된다.
- <43> 여기서, 비행 높이는 하드디스크(20)의 회전동안 자기 헤드 슬라이더(50)가 하드디스크(20)에 대하여 부상한 채로 비행할 때, 자기 헤드 슬라이더(50)의 선단 쪽에 마련되어 읽기 센서 즉, 자기저항헤드와 하드디스크(20)의 표면 사이의 간격(gap)이다. 상기 그램 하중은 서스펜션(31)에 의해 발휘된 힘을 말한다.
- <44> 도 2는 일반적인 자기 헤드(70)의 구조를 확대하여 도시한 것이다, 도시된 바와 같이, 자기 헤드(70)는 재생을 위한 자기저항헤드(74)와, 기록을 위한 유도기록헤드를 포함하고 있다. 자기저항헤드(74)는 하드디스크(20)에 기록된 자기신호를 감지하여 읽어들이는 역할을 한다. 유도기록헤드는 하드디스크(20)로의 누설 자석을 형성하기 위한 탑 폴(top pole:71)과 바텀 폴(bottom pole:72) 및 전류가 공급됨에 따라 자계가 발생하는 기록용 코일(73)을 구비하여, 원하는 자기신호를 하드디스크(20)에 기록하는 역할을 한다.

- <45> 그런데, 최근의 하드디스크(20)는 용량이 증가되도록 TPI(Track per Inch)는 증가시키고 트랙의 폭(W)을 줄이는 추세이다.
- <46> 이와 같이 하드디스크(20)의 트랙 폭을 줄이려면, 거기에 자기신호를 입력하는 쓰기 헤드의 폭도 그에 맞춰서 줄여야 하며, 상대적으로 작은 크기의 트랙에 적힌 자기필드를 읽어내기 위해서 자기 헤드(70)의 비행 높이(FH)도 낮출 필요가 있다.
- <47> 이와 같이, 자기 헤드(70)의 비행 높이(FH)를 낮추는 경우, 자기 헤드 슬라이더(50)와 하드디스크(20) 사이의 간격이 좁아져, 실제로 자기 헤드 슬라이더(50)를 하드디스크(20)의 다른 트랙 또는 파킹 영역(21) 등으로 이동시키기 위해 비행시키는 중에 자기 헤드 슬라이더(50)와 하드디스크(20)간에 접촉(간섭)이 발생할 수 있으며, 이로 인해 자기 헤드(70) 혹은 하드디스크(20)에 손상이 발생할 수 있다.
- <48> 도 3은 종래의 자기 헤드 조립체의 일 예를 개략적으로 보인 사시도로서 본 출원인에 의해 출원된 특허출원번호 97-36559(97. 7. 31 출원)에 개시된 것이다.
- <49> 도 3에 도시된 자기 헤드 조립체(100)는, 액추에이터 암(32)의 단부에 결합되어 자기 헤드 슬라이더(50)를 자기 디스크(101)쪽으로 바이어스시키는 서스펜션(31)과, 서스펜션(31)에 설치되는 자기 헤드 슬라이더(50)와, 자기 헤드 슬라이더(50)와 서스펜션(31) 사이에 자기 헤드 슬라이더(50)를 지지하기 위한 짐벌(gimbal, 36)을 포함한다.
- <50> 서스펜션(31)은 기록매체인 자기 디스크(101)의 회전에 따라 발생하는 공기 유동(air flow)에 의한 양력에 의해 자기 헤드 슬라이더(50)의 비행 높이에 영향을 미치며, 자기 헤드 슬라이더(50)의 비행을 안정적으로 유지할 수 있도록 설계된다.

- <51> 자기 헤드(70)는 자기 헤드 슬라이더(50)의 자기 디스크(101)쪽에 위치되는 면의 선단부에 위치된다.
- <52> 기록동작을 수행할 때, TPTP가 심할 경우, 헤드의 기록 실패율을 증가시킬 수 있다. 또한 국부적인 기록 실패 또는 스크래치(scratch)등의 영향을 줄 수 있다.
- <53> 도 4a 및 도 4b는 TPTP에 의한 영향을 도식적으로 보이기 위한 것이다. 도 4a에 도시된 것은 재생 동작을 수행할 때의 상태를 보이는 것이고, 도 4b는 기록 동작을 수행할 때의 상태를 보이는 것이다. 도 4b를 참조하면 도 4a에 도시된 것에 비해 기록 폴이 돌출 되어져 있는 것을 알 수 있다. 이러한 기록 폴의 돌출은 비금속으로 구성된 자기 헤드 슬라이더(50)와 자기 헤드(70) 사이의 열팽창 계수의 차이에 의해 발생하며, 실질적으로 FH를 낮추게 하며, 심한 경우에는 Head와 Disk의 부딪힘이 발생하여 Head Pole Damage(헤드 폴의 손상), TA(Thermal Asperity) 등의 원인이 되기도 한다.
- <54> 이러한 TPTP의 양은 i^2R 에 비례한다. 여기서 i 는 기록 전류를 나타내고, R 은 기록 코일의 저항을 나타낸다. 따라서, TPTP를 줄이기 위해서는 i 와 R 을 줄여야 한다.
- <55> 도 5는 기록 전류의 파형을 보이는 파형도이다. 도 5에 도시된 바와 같이 디스크에 기록된 데이터의 전환점에서 기록 전류는 날카로운 기립 형상을 보인다. 도 5에 있어서 기록 전류의 기립 성분을 오버슈트전류(Over Shoot Current ; OSC)라 한다.
- <56> 기록 전류의 DC 성분은 자계의 세기를 보자력 근처에 유지시키는 역할을 하며, 오버슈트전류는 기록 방향이 전환되는 위치에서 자계의 세기를 보자력 이상으로 끌어올리는 트리거로서의 역할을 하게 된다.

- <57> 따라서, 기록 동작에 있어서 TPTP에 가장 큰 영향을 주는 것은 오버슈트전류 OSC가 된다.
- <58> 도 6은 기록 전류의 오버슈트의 변화에 따른 TPTP의 변화 정도를 나타내는 그래프의 예로써, 오버슈트전류의 크기를 제어하는 오버슈트 제어 신호(Over Shoot Control)의 값이 0(a), 1(b), 5(c), 10(d), 15(e), 20(f), 25(g) 및 30(h)인 경우에 TPTP의 크기를 [nm]단위로 나타내고 있다.
- <59> 기록 전류의 오버슈트컨트롤의 값을 변화시키면서 TPTP의 프로파일을 측정하면, 기록 전류의 오버슈트컨트롤의 값이 커질수록 TPTP의 영향이 커진다. 그러므로, 기록 전류의 오버슈트컨트롤의 값이 커질수록 헤드와 디스크간의 접촉에 미치는 영향은 커진다는 것을 알 수 있다. 또한, 실험에 의하면 기록 전류의 오버슈트컨트롤의 값이 4스텝 변화함에 따라 TPTP는 10Å 정도 발생하며, 통상 FH가 100Å 정도인 것을 감안하면 기록 전류의 오버슈트컨트롤의 값의 4스텝 변화에 대해 약 10%정도 FH가 감소하는 것이며, TPTP가 하드디스크 드라이브의 성능에 상당한 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.
- <60> 도 7은 본 발명에 따른 TPTP 측정 방법을 보이는 흐름도이다.
- <61> 본 발명에 따른 TPTP 특성 측정 방법은 기본적으로 오버슈트전류(OSC)를 변화시키면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하고, 이들의 관계로부터 TPTP의 정도를 판단하는 것이다. 여기서, 오차율은 BER(Bit Error Rate)나 CSM(Channel Statistics Measurement)로 나타내어진다.
- <62> 본 발명에 따른 TPTP 특성의 측정은 디스크 제조 공정 중의 변인 테스트 공정에서 수행되는 것이 바람직하다.

- <63> 먼저, 테스트 존을 선택한다.(s702) 테스트 존은 MD(Middle Diameter)와 OD(Outer Diameter)로 선정된다. TPTP는 기록 주파수에 의해서도 영향을 받으며 기록 주파수가 높을수록 더욱 커진다. OD는 ID(Inner Diameter; 디스크의 내주)에 비해 기록 주파수가 높으므로 TPTP 측정에 더욱 적합하다.
- <64> 여기서, TPTP의 측정은 낮은 기압 조건에서 수행되는 것이 바람직하다. 낮은 기압 조건은 낮은 공기 밀도로 인하여 FH를 낮추게 하며, TPTP에 의한 영향을 보다 실제적으로 측정할 수 있게 한다. 이러한 낮은 기압 조건은 기압 챔버(altitude chamber)에서 조성된다.
- <65> 다음으로, 오버슈트전류(OSC)를 바꾸어가면서 BER(혹은 CSM)을 측정한다.(s704) 오버슈트전류(OSC)는 대략 임의의 단계로 조정될 수 있다. 오버슈트전류(OSC)를 낮은 값으로부터 높은 값(혹은 그 반대로)으로 변화시켜가면서 BER(혹은 CSM)을 측정한다.
- <66> 주어진 오버슈트전류(OSC)의 조건에서 테스트 존에서 선택된 트랙에 소정 횟수(m)만큼 반복하여 연속적으로 데이터를 기록한 후 해당 트랙을 소정 횟수(1)만큼 읽어서 BER(혹은 CSM)을 측정한다.
- <67> s704과정을 통하여 얻어진 TPTP의 프로파일에서 최저의 BER(BER_{opt})과 최대 오버슈트전류(OSC)에서의 BER(BER_{oscmax})을 얻는다.(s706, s708) 최저의 BER(BER_{min})과 최대 오버슈트전류(OSC)에서의 BER(BER_{oscmax})의 차이는 TPTP의 정도를 나타낸다.
- <68> 최저의 BER(BER_{min})과 최대 오버슈트전류(OSC)에서의 BER(BER_{oscmax})의 차이가 소정의 문턱값 d보다 큰 지를 판단한다.(s710) 만일 최저의 BER(BER_{min})과 최대 오버슈

트전류(OSC)에서의 BER(BER_oscmax)의 차이가 소정의 문턱값 d보다 크다면 TPTP가 심한 헤드로 분류하고, 그렇지 않으면 TPTP가 약한 헤드로 분류한다.(s712, s714)

- <69> 도 8은 도 7의 s704 내지 s708과정을 통하여 측정된 오버슈트전류(OSC)와 BER의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다.
- <70> 도 8을 참조하면 오버슈트전류(OSC)에 대한 BER은 대략적으로 최저의 BER(BER_min)을 만족점으로 하는 V자형을 보인다. 이는 오버슈트전류(OSC)가 낮으면 낮은 자계에 의해 BER이 나빠지고 오버슈트전류(OSC)가 높으면 TPTP가 심해지기 때문에 BER이 나빠지는 것으로 해석된다.
- <71> 따라서, 최저의 BER(BER_min)과 최대 오버슈트전류(OSC)에서의 BER(BER_oscmax)의 차이가 소정의 문턱값(d) 이상이 되면 TPTP가 심한 헤드로 판단할 수 있다. 여기서, d는 하드디스크 드라이브의 특성 및 품질 기준 등에 따라 가변되는 팩터이다. 또한, d는 테스트 존에 따라서도 다르게 설정될 수 있다. 예를 들면 OD에서는 MD에 비해 높은 기록 주파수를 가지며 TPTP가 발현되는 경향이 매우 강하므로 MD에서의 측정에 비해 d를 낮추어준다.
- <72> 한편, 일반적으로 높은 기록 주파수를 가지는 OD가 MD, ID에 비하여 TPTP의 경향이 뚜렷하게 나타나지만 실제 적용에 있어서 테스트 존은 오버슈트전류(OSC)와 BER간의 상관 관계를 나타내는 그래프가 가장 잘 나타나는 존으로 설정하는 것도 가능하다.
- <73> 도 9는 도 7의 s704 내지 s708과정을 통하여 측정된 오버슈트전류(OSC)와 CSM의 관계를 보이는 그래프의 일 예이다. 도 9에 도시된 바에 의해 알 수 있는 바와 같이 오버

슈트전류(OSC)와 CSM 사이에서도 도 8에 도시된 오버슈트전류(OSC) vs BER과 유사한 관계가 보여짐을 알 수 있다.

<74> BER은 헤드에 의하여 읽어진 신호에 포함된 일정수의 데이터 비트들 중에서 몇 개의 오류 비트가 발생하였는 가를 나타내는 비율이고, CSM은 채널 칩(channel chip)에서 제공하는 비트 에러를 측정하는 성능 검사 방법으로서 BER에 비해 측정 시간이 단축된다는 장점이 있다. 또한, BER과 CSM은 대략 로그적인 관계를 가진다.

<75> 따라서, 최저의 CSM(CSM_min)과 최대 오버슈트전류(OSC)에서의 CSM(CSM_oscmx)의 차이가 소정의 문턱값(d) 이상이 되면 TPTP가 심한 헤드로 판단할 수 있다.

<76> 그렇지만 TPTP는 헤드마다 다르게 나타난다. 즉, 헤드의 재질의 차이, 헤드와 슬라이더의 접착(bonding) 특성 등등에 의해 TPTP의 정도가 각각 다르게 발현된다.

<77> 도 10은 여러 가지의 헤드들의 TPTP 특성들을 보이는 그래프이다. 도 10에 도시된 바와 같이 TPTP의 영향이 크게 나타나는 헤드가 있는가하면 작게 나타나는 헤드도 있음을 알 수 있다.

<78> TPTP가 심한 헤드의 경우는 오버슈트전류(OSC)를 증가시킴에 따라 BER이 급격히 증가하여 최적의 오버슈트전류(OSC)와 최대 오버슈트전류(OSC)사이의 차이가 큰 반면에 TPTP가 약한 헤드의 경우는 완만한 증가 혹은 감소를 나타내어 최적의 오버슈트전류(OSC)와 최대 오버슈트전류(OSC)사이의 차이가 크지 않다.

<79> 한편, 이전의 기록 전류 제어 방법에 있어서는 단순히 헤드의 ATE(Adjacent Track Erasure) 특성을 고려하여 WC나 오버슈트전류(OSC)를 최적화한다. 일반적으로 주어진 WC 및 오버슈트전류(OSC) 조건에서 특정의 트랙을 연속적으로 수회 반복하여 기록한 후 해

당 트랙을 읽었을 때 에러가 발생하였는지를 판단하고, 에러가 발생하면 WC 및 오버슈트 전류(OSC) 조건을 변화시켜 가면서 상기의 기록 및 독출 동작을 반복하며, 에러가 발생하지 않는 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 최적의 WC 및 오버슈트전류(OSC)로서 사용하게 된다.

<80> 또한 하드디스크 드라이브는 온도에 따라 BER이 변화하는 특성을 가진다. 하드디스크 드라이브가 저온에서 사용될 경우에는 자성체층의 보자력이 증가하므로 높은 보자력에 대응하도록 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 증가시키고, 고온에서 사용될 경우에는 자성체층의 보자력이 감소하므로 낮은 보자력에 대응하도록 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 감소시키는 방법이 사용되고 있다.

<81> 도 11은 하드디스크에 있어서 자기 이력 곡선 및 보자력을 보이는 것이다. 그림에서 자기장 H의 크기를 0(zero) ~ a까지 하여 a ~ A 크기의 자속 밀도가(이 값을 B_m 이라 한다) 되게 한 후 전류를 0(zero)으로 하여도 0(zero) ~ b 만큼의 잔류자기(Residual Magnetism) B_r 이 남아 있다. 이것을 없애기 위해서 전류를 반대 방향으로 흘려 자기장을 만들면, 자기장의 크기가 0(zero) ~ c가 되는 점에서 자속밀도 B는 0(zero)이 된다. 계속해서 역으로 자기장을 증가시키면 0(zero) ~ a'인 곳에서 A와 역으로 $-B_m$ 의 자속 밀도를 얻게 된다. 다시 전류를 감소시켜 0(zero)으로 하고 처음의 방향으로 자화를 계속하면 b', c'를 통과하여 $H=0 \sim a$ 에서 처음과 같이 자속밀도 B_m 으로 되 돌아온다. 이와 같은 현상을 히스테리시스 현상(자기이력현상)이라고 한다.

<82> 또한, 보자력(H_c)은 강자성체를 포화까지 자화시킨 후, 그 자속밀도를 영으로 하는데 필요한 감자계의 강도를 말한다.

- <83> 알려진 바와 같이 하드디스크 드라이브의 동작 온도가 낮으면 보자력은 높아지고, 동작 온도가 높으면 보자력이 낮아진다. 하드디스크의 보자력은 재질에 따라 다르기는 하지만 대략 -60°C 에서 3200 Oe(Oersted, 자계 강도를 나타내는 단위)정도이고, 0°C 에서 3000 Oe정도이고, 60°C 에서 2800 Oe정도이다.
- <84> 이에 따라 하드디스크 드라이브는 통상 저온 모드에서는 높아지는 보자력에 대응하도록 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 일정량만큼 증가시키고, 고온 모드에서는 낮아지는 보자력에 대응하도록 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 일정량만큼 낮추어준다.
- <85> 예를 들어 저온 모드에서는 상온 모드에 비해 WC를 8mA, 오버슈트전류(OSC)를 6스텝 올려주고, 고온 모드에서는 오버슈트전류(OSC)를 4스텝 낮추어준다.
- <86> 그러나, 종래의 기록 전류 제어 방법은 각개 헤드의 TPTP 성능을 고려하지 않은 채로 고온/저온 모드에서 일률적으로 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 일정량만큼 감소/증가시킴에 따라 TPTP가 심한 헤드의 경우에는 WC 및 오버슈트전류(OSC)가 너무 과다하거나 부족하여 HDI상에서 문제를 발생시켜 헤드 손상, TA, 기압 마진(Altitude margin; 기압에 따른 FH의 변화에 따른 마진)의 격감 등과 같은 불량율 야기할 가능성이 매우 높다.
- <87> 본 발명에서는 기록 전류를 설정함에 있어 각개 헤드의 TPTP 특성을 고려하도록 함으로써 최적의 기록 전류 제어를 실현한다.
- <88> 도 12는 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법을 보이는 흐름도이다.
- <89> 먼저, 도 7에 도시된 방법에 의해 각개 헤드의 TPTP 특성을 측정한다.(s1202)
- <90> s1302과정에서 측정된 각개 헤드의 TPTP 특성을 참조하여 TPTP가 심한 헤드와 약한 헤드들로 분류한다.(s1204)

- <91> TPTP가 심한 헤드와 그렇지 않은 헤드들에 대해 기록 전류 제어 파라미터를 다르게 설정한다.(s1206)
- <92> 예를 들어, TPTP가 심한 헤드들에 대해서는 그렇지 않은 헤드들에 비해서 저온 모드에서 WC 및 오버슈트전류(OSC)를 보다 낮게 올리도록 제어 파라미터를 설정한다. 제어 파라미터는 HDI, 품질 기준 등에 맞추어 유동적으로 변화시킬 수 있다.
- <93> 여기서, TPTP가 심한 헤드로 판정된 경우 오버슈트전류(OSC) 및 WC를 조절하는 정도는 TPTP의 정도 및 HDI를 고려하여 적절히 고려할 수 있다.
- <94> 설정된 기록 전류 제어 파라미터들을 디스크의 메인티넌스 실린더에 기록한다.(s1308) 다르게는 불휘발성 메모리에 저장시켜 둘 수도 있다.
- <95> 메인티넌스 실린더 혹은 불휘발성 메모리에 저장된 제어 파라미터는 실제 사용자 조건에서 참조된다.
- <96> 표 1 및 표 2는 각각 TPTP가 약한 헤드 및 TPTP가 심한 헤드의 경우에 온도에 따른 파라미터 설정의 예를 보이는 것이다.
- <97> 【표 1】

| Temperature | All zone |
|---------------|-----------------------------|
| 10.0℃ - 15.0℃ | Use[OSC2 + 4] for each zone |
| 5.0℃ - 10.0℃ | Use[OSC1 - 3] for each zone |
| < 5.0℃ | Use OSC1 for each zone |

- <98> 【표 2】

| Temperature | All zone |
|---------------|-----------------------------|
| 10.0℃ - 15.0℃ | Use OSC2 for each zone |
| 5.0℃ - 10.0℃ | Use[OSC1 - 7] for each zone |
| < 5.0℃ | Use[OSC1 - 4] for each zone |

<99> 표 1 및 표 2에 있어서 오버슈트전류1(OSC1)은 저온 모드에 대하여 설정된 기준 오버슈트전류(OSC)이고, 오버슈트전류2(OSC2)는 고온 모드에 대하여 설정된 기준 오버슈트전류(OSC)이다.

【발명의 효과】

<100> 본 발명에 따른 TPTP 측정 방법에 따르면 번인 테스트 공정에서 각개 헤드의 TPTP 특성을 정량적으로 측정할 수 있다는 효과를 가진다.

<101> 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법에 의하면 각 헤드별로 다른 기록 전류 제어 파라미터를 부여함으로써 ATE나 Weak Write와 같은 사용자 환경에서의 치명적인 데이터 오류의 발생을 억제하고, 전반적으로 하드디스크 드라이브의 성능을 향상시키는 효과가 있다.

<102> 본 발명에 따른 기록 전류 제어 방법에 따르면 과도한 오버슈트전류(OSC) 및 WC에 의한 헤드 수명의 단축 및 헤드 신뢰성의 저하를 개선하여 하드디스크 드라이브의 수명 및 신뢰도를 개선하게 된다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서,
오버슈트전류 (Over Shoot Current ; OSC)의 크기를 변화시켜가면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하는 과정;

오버슈트전류 OSC의 변화 범위에서 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류OSC에서의 오차율을 검출하는 과정; 및

최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이에 의해 TPTP의 정도를 판단하는 과정을 포함하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 2】

제1항에 있어서, 상기 오차율 측정 과정은 디스크 상에서 오버슈트전류 OSC와 오차율 사이의 상관 관계가 현저하게 드러나는 소정의 테스트 존에서 수행되는 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 3】

제2항에 있어서, 상기 테스트 존은 디스크의 OD(Outer Diameter)에 설정되는 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 4】

제1항에 있어서, 상기 오차율 측정 과정은 저기압 조건에서 수행되는 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 5】

제1항에 있어서, 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이를 소정의 문턱값(d)과 비교하는 과정; 및

최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 문턱값(d)보다 높으면 상기 자기헤드의 TPTP 특성이 나쁜 헤드로 판별하는 과정을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 6】

제5항에 있어서, 상기 문턱값(d)은 HDI(Head/Disc Interface) 및 품질 기준에 따라 결정되는 값인 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 7】

제5항에 있어서, 상기 문턱값(d)은 오차율 측정 과정이 수행되는 디스크상의 영역에 따라 결정되는 값인 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 8】

제1항에 있어서, 상기 오차율은 BER(Bit Error Rate)인 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 9】

제1항에 있어서, 상기 오차율은 CSM(Channel Statistics Measurement)인 것을 특징으로 하는 TPTP 특성 측정 방법.

【청구항 10】

하드디스크 드라이브에 구비된 자기 헤드의 TPTP 특성을 측정하는 방법에 있어서,

오버슈트전류 (Over Shoot Current ; OSC)의 크기를 변화시켜가면서 소정의 데이터를 기록 및 독출하여 오차율을 측정하는 과정;

오버슈트전류 OSC의 변화 범위에서 최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율을 검출하는 과정;

최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이에 의해 TPTP의 정도를 판단하는 과정; 및

판단된 TPTP의 정도에 상응하여 온도에 따른 기록전류(Write Current) 및 오버슈트전류 OSC의 조정 정도를 결정하는 과정을 포함하는 기록 전류 제어 방법.

【청구항 11】

제10항에 있어서, 상기 결정 과정은

최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이를 소정의 문턱값(d)과 비교하는 과정;

최저의 오차율과 최대 오버슈트전류 OSC에서의 오차율의 차이가 문턱값(d)보다 높으면 상기 자기헤드의 TPTP 특성이 나쁜 헤드로 판별하는 과정; 및

TPTP 특성이 나쁜 헤드는 그렇지 않은 헤드에 비해 오버슈트전류 OSC 증가 정도를 더욱 억제하도록 기록 전류 제어 파라미터를 설정하는 과정을 포함하는 기록 전류 제어 방법.

【청구항 12】

제10항에 있어서, 상기 오차율 측정 과정은 디스크 상에서 오버슈트전류 OSC와 오차율 사이의 상관 관계가 현저하게 드러나는 소정의 테스트 존에서 수행되는 것을 특징으로 하는 TTPP 특성 측정 방법.

【청구항 13】

제12항에 있어서, 상기 테스트 존은 디스크의 OD(Outer Diameter)에 설정되는 것을 특징으로 하는 기록 전류 제어 방법.

【청구항 14】

제10항에 있어서, 상기 오차율 측정 과정은 저기압 조건에서 수행되는 것을 특징으로 하는 기록 전류 제어 방법.

【청구항 15】

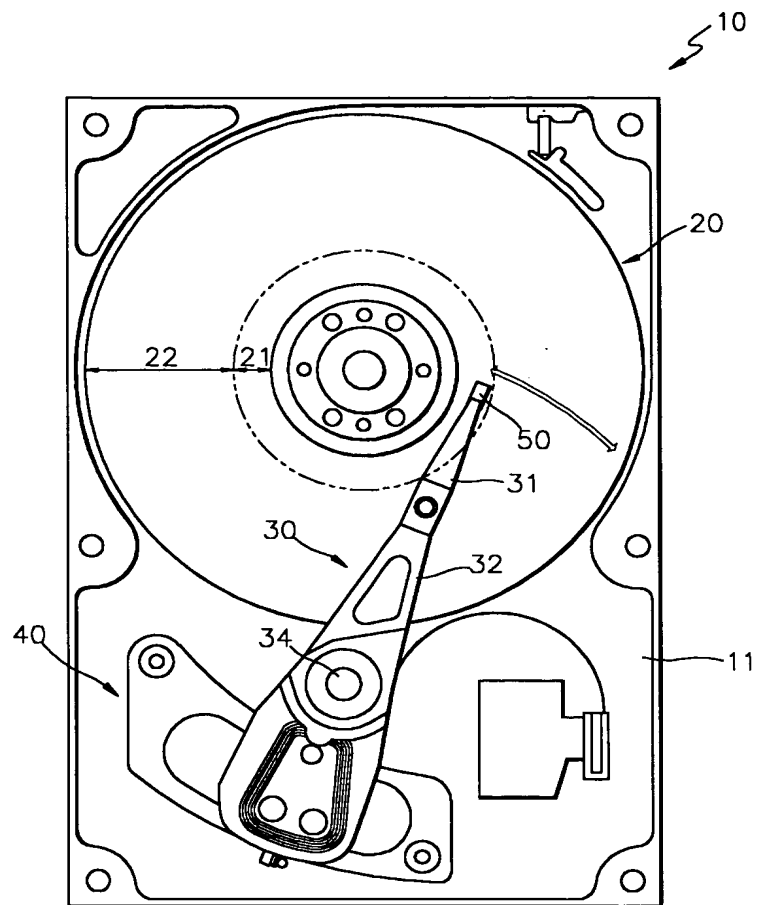
제10항에 있어서, 상기 오차율은 BER(Bit Error Rate)인 것을 특징으로 하는 TTPP 특성 측정 방법.

【청구항 16】

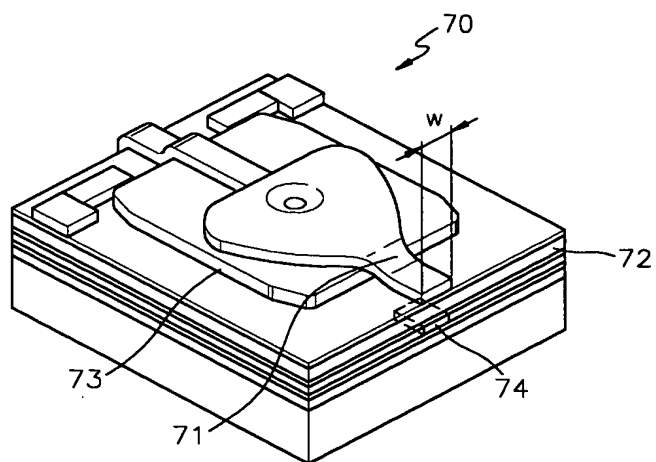
제11항에 있어서, 상기 오차율은 CSM(Channel Statistics Measurement)인 것을 특징으로 하는 TTPP 특성 측정 방법.

【도면】

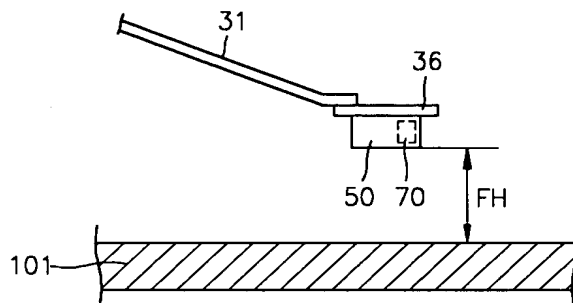
【도 1】



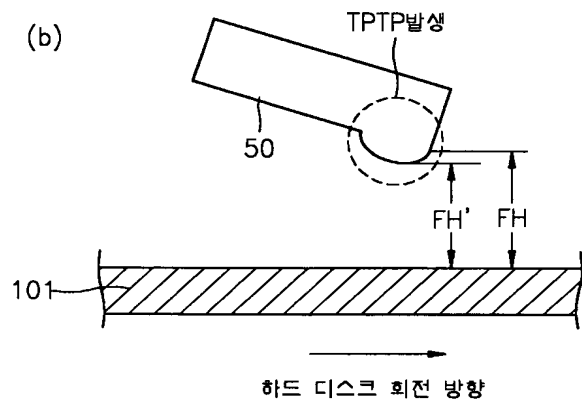
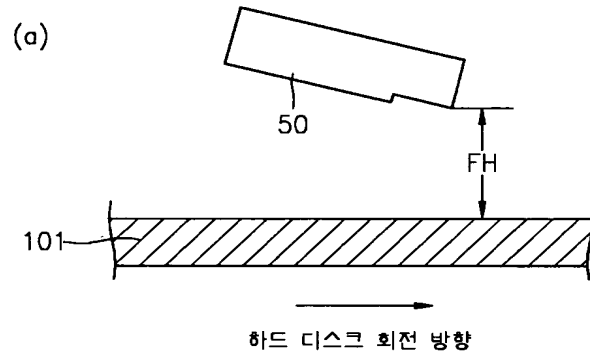
【도 2】



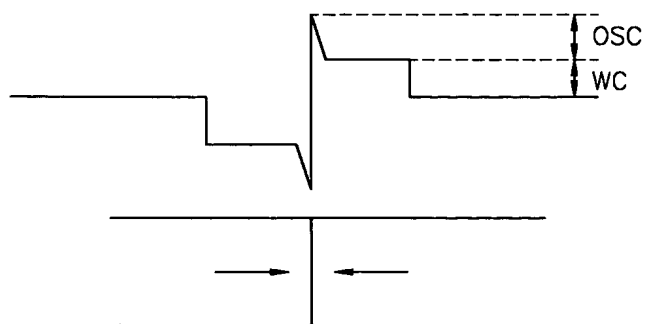
【도 3】



【도 4】

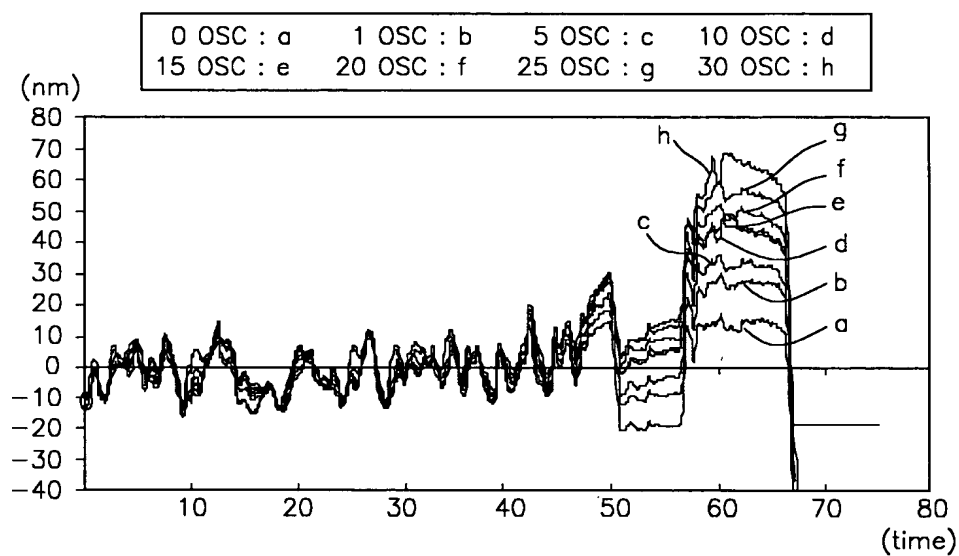


【도 5】

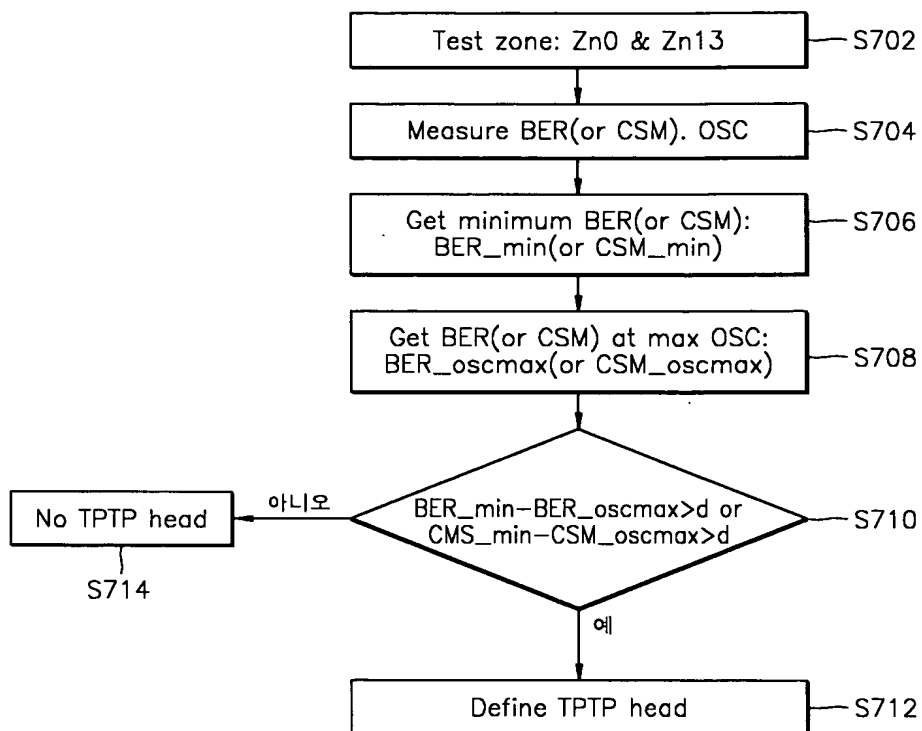


【도 6】

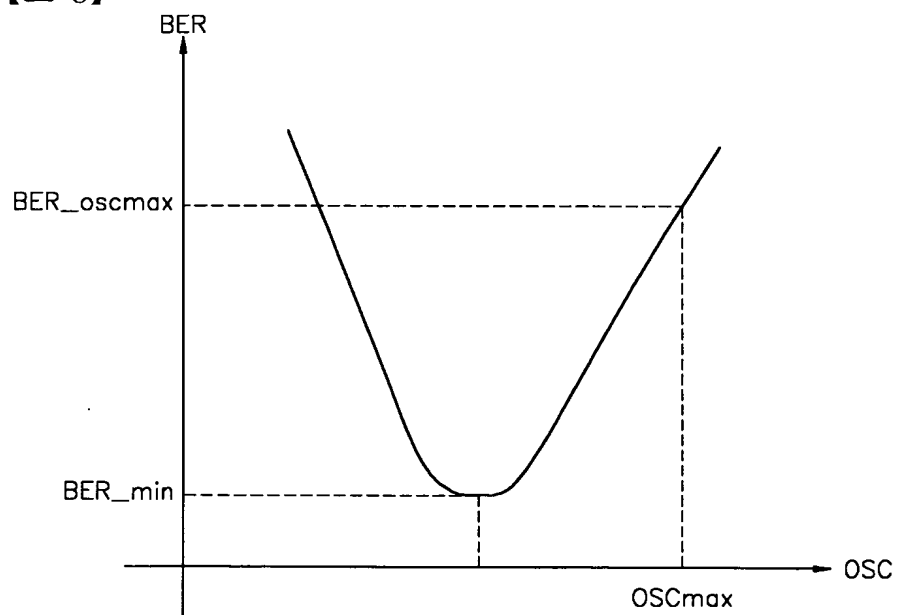
(Freq=265.6MHz, Iw=40mA)



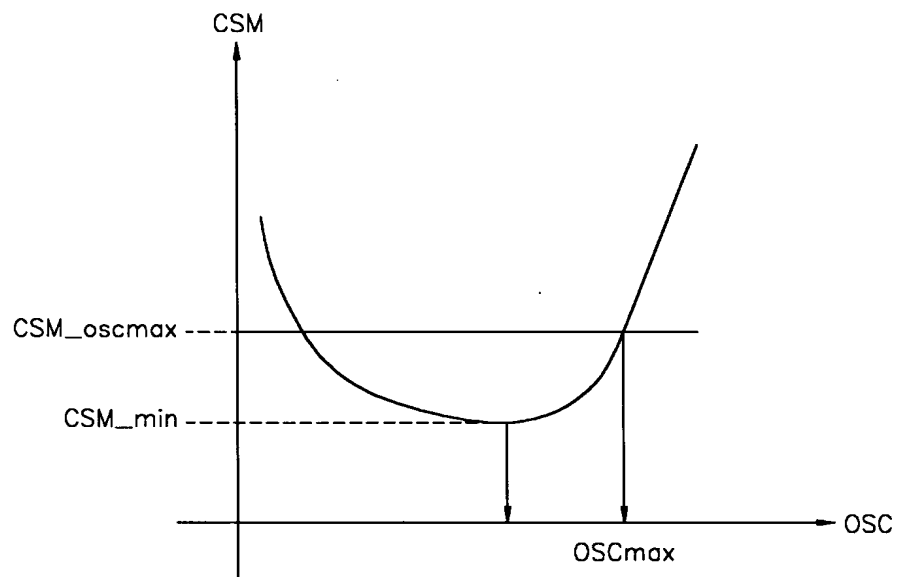
【도 7】



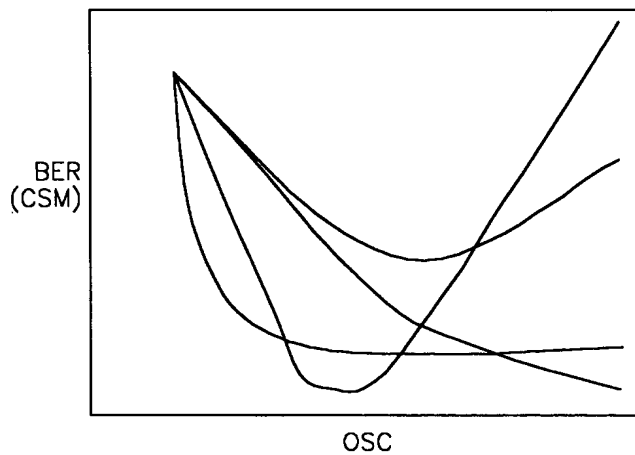
【도 8】



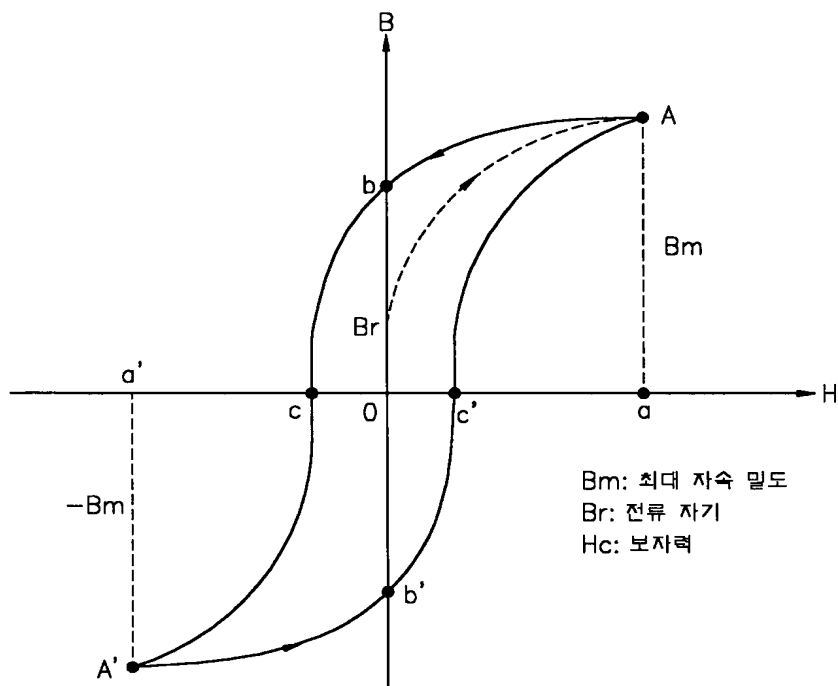
【도 9】



【도 10】



【도 11】



【도 12】

